中国生态农业学报 2018 年 6 月 第 26 卷 第 6 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, Jun. 2018, 26(6): 903−915

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.171085

王晓晴, 牛志君, 康薇, 张立强, 张俊梅. 基于土地生态要素分区的坝上生态用地生态服务价值分析[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(6): 903−915

WANG X Q, NIU Z J, KANG W, ZHANG L Q, ZHANG J M. Analysis of ecological service value of ecological land of Bashang area based on ecological factor division[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2018, 26(6): 903−915

基于土地生态要素分区的坝上生态用地生态服务价值分析*

王晓晴[1], 牛志君[1], 康 薇[1], 张立强[2], 张俊梅[2]

(1. 河北农业大学资源与环境科学学院 保定 071000; 2. 河北农业大学国土资源学院 保定 071000)

摘 要: 坝上地区是京津冀地区的重要生态屏障, 也是京津冀的重要水源涵养地和生物多样性保护重要基地, 对保障京津冀地区的生态安全和水资源供给有着不可替代的作用。本研究运用软件 ARCGIS 10.2, 将坝上地区的土壤类型与地貌类型两大主要土地生态要素进行叠加, 划分典型类型区, 并结合现行的土地利用分类系统和生态系统服务功能, 构建生态用地分类体系, 在此基础上, 以粮食单产进行区位修订, 采用当量因子法估算 2015 年坝上各类型分区内生态用地的生态系统服务价值, 以期为坝上地区的生态用地格局规划与区域生态保护管理政策制定提供理论依据。结果表明: 1)河北省坝上地区粮食单产大体趋势是自中部向两翼方向逐渐递增, 高产区主要是东南部的褐土侵蚀剥蚀低山类型区和褐土侵蚀剥蚀中山类型区, 产量高达 5 000 kg·hm^{-2} 以上; 低产区则是主要位于西南的张北县栗钙土玄武岩台地类型区和尚义县粗骨土侵蚀剥蚀中山类型区, 产量不足 2 500 kg·hm^{-2}。2)河北省坝上生态用地类型以草地和林地为主, 两者面积之和占总面积的 73.95%。沼泽土侵蚀剥蚀中山类型区、沼泽土冲积风积高原类型区、灰色森林土侵蚀剥蚀中山类型区以及灰色森林土冲积风积高原类型区的生态用地面积占其类型区总面积的 95%以上, 而盐土湖积高原类型区的生态用地所占比例最小, 仅占 39.74%。3)2015 年坝上生态服务总价值高达 634.77 亿元, 其中坝上地区东部的棕壤侵蚀剥蚀中山类型区生态服务价值最大, 主要由林地提供; 位于西北部的盐土湖积高原类型区生态服务价值最小, 基本为草地所提供。本研究表明, 不同的土壤类型和地貌类型均影响着土地生产能力的大小, 从而影响着该地区的生态系统服务价值大小。

关键词: 土地生态要素; 土壤类型; 地貌类型; 生态用地; 生态服务价值; 坝上

中图分类号: S154.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2018)06-0903-13

Analysis of ecological service value of ecological land of Bashang area based on ecological factor division*

WANG Xiaoqing[1], NIU Zhijun[1], KANG Wei[1], ZHANG Liqiang[2], ZHANG Junmei[2]

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China; 2. College of Land Resources, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China)

Abstract: As a vital ecological barrier and biodiversity conservation base of the Beijing-Tianjin-Hebei Region, Bashang area plays an irreplaceable role in guaranteeing ecological security and water resources supply. In this study, the ARCGIS 10.2 software was

* 河北省社会科学基金项目(HB16YJ060)资助
王晓晴, 研究方向为土壤与土地资源持续利用。E-mail: 594585904@qq.com
收稿日期: 2017-11-24 接受日期: 2018-02-05

* This study was funded by the Social Science Foundation of Hebei Province (HB16YJ060).
Corresponding author, WANG Xiaoqing, E-mail: 594585904@qq.com
Received Nov. 24, 2017; accepted Feb. 5, 2018

used to zone the typical regions of land ecological elements through overlapping the two major ecological elements — soil and topography in Bashang area. For further research, an ecological land classification system was constructed through the combination of current land use classification system and ecosystem services function. On this basis, the equivalent factor method was used to estimate the values of ecosystem services of ecological lands in various regions of Bashang for 2015 and then the location revised based on unit area grain yield. The research aim at providing theoretical basis for the planning of ecological land use and the formulation of regional ecological protection and management policies in Bashang area. The results showed that: 1) the general trend in grain yield in the Bashang area gradually increased from the central region into the two projecting wings. Both the regions of low and middle mountains of eroded cinnamon soil in the southeast of the study area were high-yield regions with yields of above 5 000 kg·hm^{-2}. Then low-yield areas included the region of chestnut soil basalt planform in Zhangbei County and the region of middle mountain eroded skeleton soil in Shangyi County, with yield less than 2 500 kg·hm^{-2}. 2) Grassland and woodland were the main types of ecological land in Bashang, accounting for 73.95% of the total area. The ecological land areas of regions of middle mountain of eroded marshy soil, alluvial aeolian plateau of marsh soil, middle mountain of eroded gray forest soil, alluvial aeolian plateau of gray forest soil accounted for over 95% of the various type areas. On the contrary, the proportion of ecological land of saline soil lake plateau region was smallest, accounting for only 39.74%. 3) The total value of ecological services in Bashang reached 63.48 billion ¥ in 2015. The maximum ecosystem service value was in the region of middle mountain of eroded brown soil in the eastern part of the Bashang area, which was mainly provided by the woodland. The ecosystem service value in the saline soil lake plateau region in the northwestern part was the smallest, which was basically provided by grassland. The research reflects that both soil type and geomorphic form influenced land production capacity, thus influencing ecological service value.

Keywords: Ecological factors of land; Soil type; Geomorphic form; Ecological land; Value of ecological services; Bashang area

生态用地不仅是维护生态安全格局的重要屏障，也是改善人居环境、促进人类社会可持续发展的重要土地资源[1-3]。由于国内外学者并没有对“生态用地”的概念有一个严格的界定，导致近年来生态用地的深入研究和精细化管理难以有很大的突破。为了满足现实中生态用地管理和现行的土地分类制度相关联，许多学者从土地利用的特点和主要功能出发，探讨了生态用地的定义和功能分类[4-5]。本研究从土地主体功能角度出发，将生态用地内涵界定为：生态用地是相对于生产生活用地，以提供防风固沙、水土保持、水源涵养、维持生物多样性等重要生态服务功能为主，对维持区域生态平衡和可持续发展具有重要作用的土地用地类型。

生态系统服务价值是指人类直接或间接从生态系统的结构、过程和功能中得到的效益[6-7]。随着各种生态问题的出现，国内外相关人士开始关注土地生态系统的生态服务价值，并开展大规模的研究。最初，Costanza 等[8-9]把全球生态服务功能划分为 17 种主要类型，并求取了全球各地类的生态服务价值；之后，欧阳志云等[10]评估了中国陆地生态系统的 6 种服务功能及其生态经济价值；谢高地等[11]在 Costanza 的研究基础上结合我国实际情况建立了中国不同陆地生态系统单位面积生态服务价值当量表，并计算出各地类单位面积上不同功能的生态系统服务价值的总和。近些年来，国内学者广泛借鉴其研究成果，结合 3S 技术从土地利用类型变化响应[12-14]、时空变化特征[15-17]逐步拓展到其变化的驱动因素探索研究。总的来说，我国对生态系统服务价值评估的研究正在不断进步，为生态环境管护起到了重要的支撑作用。

目前，国内学者对于生态用地的研究大部分是针对其内涵的探索，对于生态用地的生态系统服务价值进行评估的研究还处于初级阶段[18-20]，而针对影响其生态价值变化的本底要素研究更是寥寥无几。坝上地区作为京津冀最重要的生态屏障，承担着恢复草地植被、打造防风固沙林、缓解京津风沙危害等生态建设任务，同时该区域所包括的 6 个县均属于国家级贫困县，经济发展形势极其严峻，生产生活用地与生态用地矛盾突出。因此，本研究以河北省坝上地区为例，将研究区划分为 28 个土地生态要素类型区作为评价单元，结合现行的土地利用分类系统和生态系统服务功能构建生态用地分类体系，在此基础上，以粮食单产进行区位修订，分析 2015 年坝上地区各类生态用地的生态系统服务价值情况，以期为区域的土地利用和生态补偿机制提供依据。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

坝上地区位处于河北省北部，内蒙古高原的东南边缘(114°35′~116°45′E, 41°00′~42°20′N)，为中国北方干旱与半干旱、农区与牧区接壤的过渡地带，是京津境内众多河流的发源地及上游所在地，

也是京津等地的生态屏障。坝上南北长约 212 km, 东西宽约 330 km, 土地总面积约 317 万 km^2。属大陆性季风气候, 寒冷、少雨、多风、干旱是该地区最典型的气候特点, 海拔约 1 100~2 400 m, 年平均温度 1.4~5 ℃, 年均降水量 330~460 mm。土壤质地主要为沙质和黏质土, 类型多样, 西部地区土壤类型以栗钙土为主, 东部主要为褐土和潮土。地貌类型东部地区以侵蚀剥蚀中山和侵蚀剥蚀低山为主, 而西部地区地貌类型多变, 包含湖积高原、洪积冲积高原和玄武岩台地等多种类型。

1.2　数据来源与处理

本研究针对土地本底的生态要素土壤类型与地貌类型进行分区, 将坝上地区 1∶25 万土壤图和地貌图进行空间叠加处理; 同时采用来源于中国 1∶25 万土地覆盖遥感调查与监测数据库解译的土地覆被数据, 该解译数据对全国土地利用变化(land use/cover change, LUCC)共划分了 6 个一级类, 25 个二级类, 从中提出研究需要的生态用地类型。粮食产量数据来源于布设样点, 野外调查获取, 数据详实可靠, 通过 ARCGIS 10.2 中克里金插值法分析得出研究区的粮食差量分布图(图 1)。

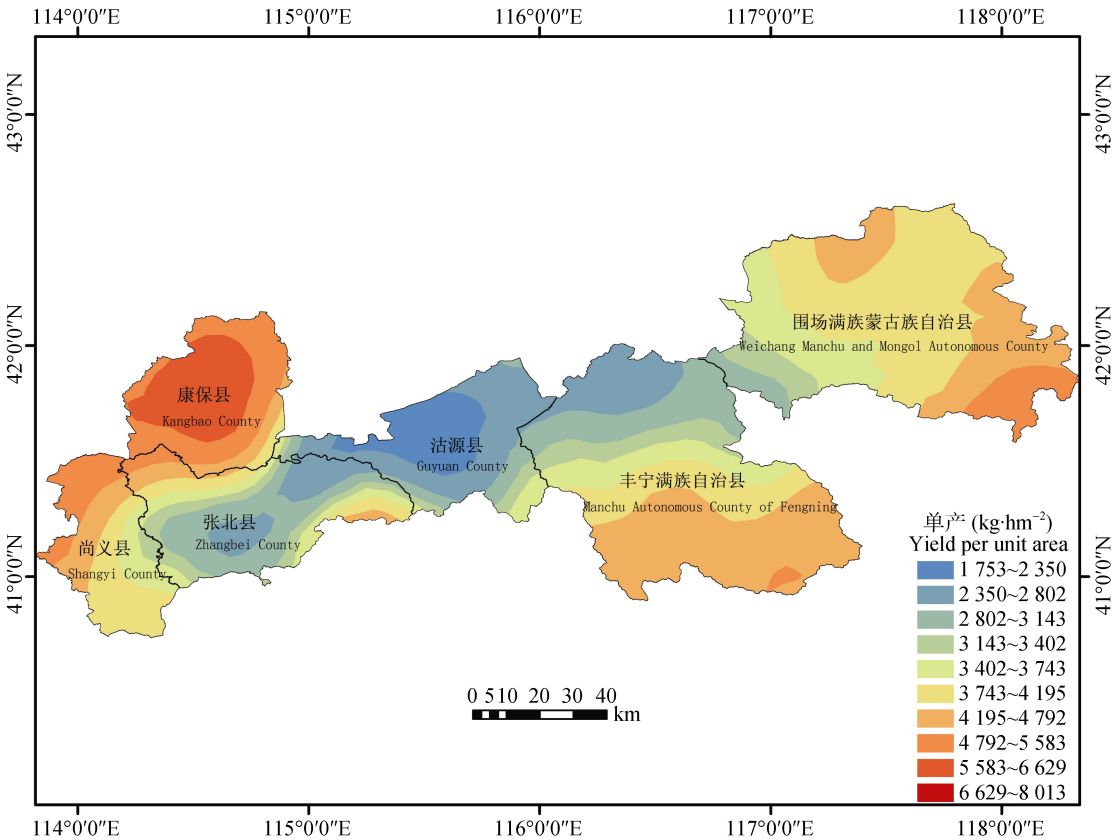

图 1　坝上地区粮食单产分布图

Fig. 1　Distribution pattern of grain yield in Bashang area

2　研究方法

2.1　生态要素类型区划分

本研究的生态要素类型分区是采用坝上地区 1∶25 万土壤图和地貌图运用 ARCGIS 10.2 通过空间分析叠加处理, 归类命名得出 28 个分区(图 2)。利用土地类型中的土壤及地貌类型生态要素来表示土地类型的特征, 进而完整地表示其资源特性, 便于在未来土地利用开发、规划整理等方面的应用。本研究将采用连续命名的原则, 按“土壤-地貌类型区”顺序命名的方法对类型区进行命名, 相对比较方便、实用。如“草甸土洪积冲积高原类型区”, 土壤类型用 T 表示, 地貌类型用 L 表示, 上述类型区用代码表示为“T_1L_2”。

2.2　生态用地分类体系

根据定义将研究区域生态用地分为草地、林地、湿地和其他生态用地 4 个一级类, 17 个二级类, 分类结果如表 1 所示[21-22]。

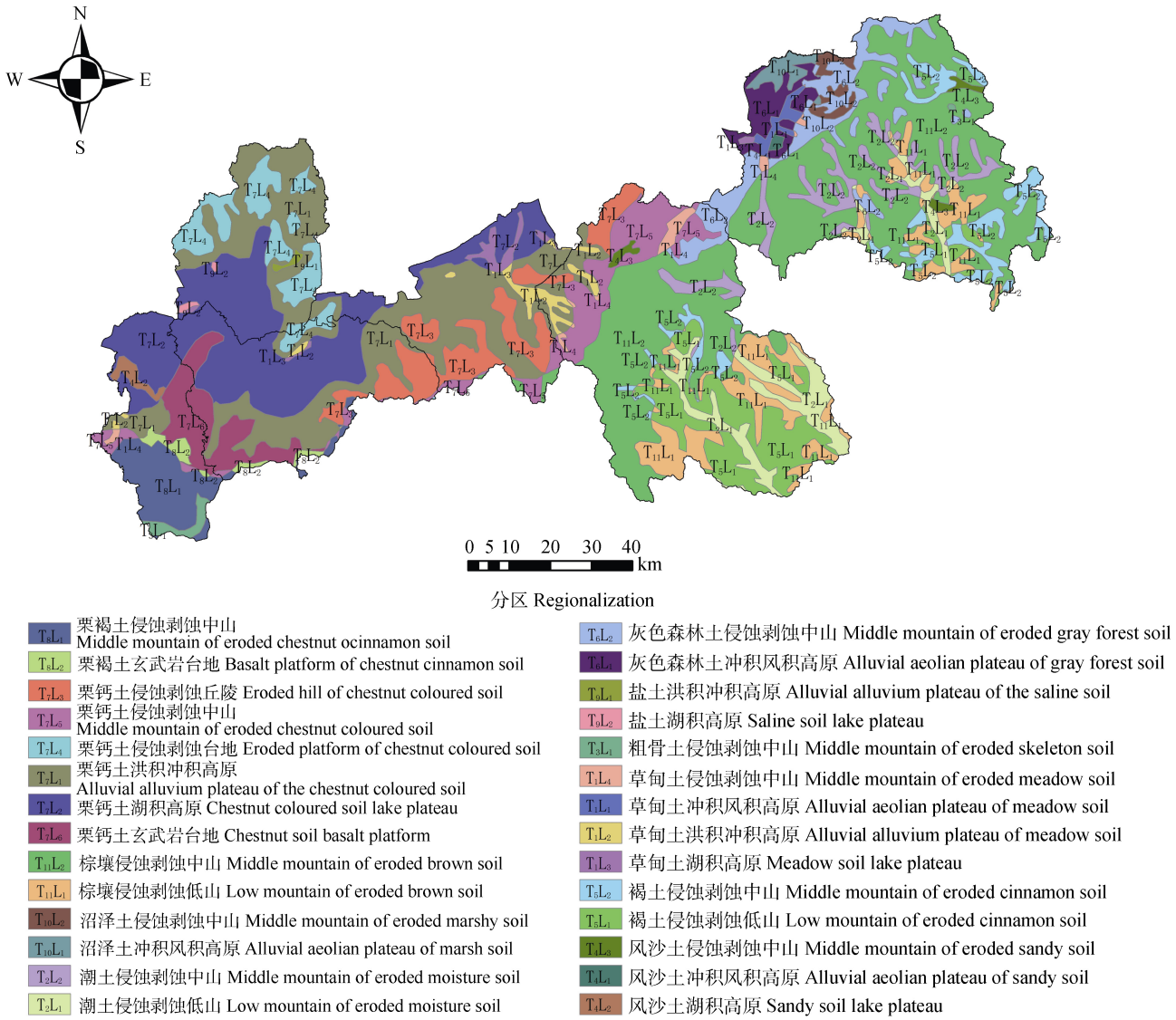

图 2 坝上地区土地生态要素类型分区图

Fig. 2 Zoning map of land ecological factors in Bashang area

2.3 生态系统服务价值测算方法

2.3.1 生态服务价值当量因子的确定

本文采用谢高地等[23]多位学者在 Costanza 等[8]提出的生态系统服务功能分类基础上，构建的符合中国实际情况的生态系统服务价值量化方法进行研究测算。该方法将农田生态系统粮食生产的服务价值定义为 1，其他生态系统服务价值与农田生态系统粮食生产的服务价值的比值即为该生态系统的当量因子。该研究需对研究区内 2015 年各土地生态要素类型区的单位面积农田年平均粮食产量的经济价值进行修正，具体见公式(1):

$$E_a=1/7\times p\times q \quad (1)$$

式中：E_a 表示单位面积农田生态服务价值当量因子的经济价值(元·hm^{-2})，1/7 是指在没有人力投入的自然生态系统提供的经济价值是现有单位面积农田提供的粮食生产服务经济价值的 1/7，p 表示研究区当年粮食平均价格(元·kg^{-1})，q 表示研究区当年各类型分区内的粮食单产(kg·hm^{-2})。

本研究借鉴上述研究方法，计算归纳得出研究区各类生态用地生态系统服务价值当量因子。

2.3.2 生态服务价值单价的计算

根据谢高地等[11]2015 年修订的“中国生态系统服务价值当量因子表”和运用以上方法计算得出的各生态要素类型区的单位面积农田生态系统粮食生产的服务价值，可得到研究区各类型区每种生态用地的单位面积生态服务功能经济价值量，其计算公式为:

$$E_{ij}=e_{ij}\times E_a \quad (2)$$

式中：E_{ij} 为 j 种生态系统 i 种生态服务功能的单价(元·hm^{-2}·a^{-1})，e_{ij} 为 j 种生态系统 i 种生态服务功能相对于农田生态系统提供生态服务单价的当量因子，i 为生态服务功能类型，j 为生态系统类型。

表 1　坝上地区生态用地统一分类体系

Table 1　Unified classification system of ecological land in Bashang area

一级类 First class		二级类 Second class		
编码 Code	名称 Name	编码 Code	名称 Name	含义 Illustration
1	草地 Grassland	11	草甸草地 Meadow grassland	覆盖度>30%, 以草本植物为主的各类草地 Herbaceous plant grassland with > 30% coverage rate
		12	典型草地 Typical grassland	覆盖度在 10%~30%, 以旱生草本为主的草地 Herbaceous plant grassland with 10%–30% coverage rate
		13	荒漠草地 Desert grassland	覆盖度在 5%~10%, 以强旱生植物为主的草地 Xerophyte grassland with 5%–10% coverage rate
		14	灌丛草地 Shrub land	草地中灌丛覆盖度<40%, 灌丛高度<2 m Grassland with shrub coverage < 40% and height < 2 m
2	林地 Forest	21	常绿针叶林 Evergreen coniferous forest	郁闭度>30%, 高度>2 m 的常绿针叶林 Evergreen coniferous forest with canopy density > 30%, height > 2 m
		22	常绿阔叶林 Evergreen broadleaf forest	郁闭度>30%, 高度>2 m 的常绿阔叶林 Evergreen broadleaf forest with canopy density > 30%, height > 2 m
		23	落叶针叶林 Deciduous coniferous forest	郁闭度>30%, 高度>2 m 的落叶针叶林 Deciduous coniferous forest with canopy density > 30%, height > 2 m
		24	落叶阔叶林 Deciduous broadleaf forest	郁闭度>30%, 高度>2 m 的落叶阔叶林 Deciduous broadleaf forest with canopy density > 30%, height > 2 m
		25	针阔混交林 Mixed broadleaf-conifer forest	郁闭度>30%, 高度>2 m 的针阔混交林 Mixed broadleaf-conifer forest with canopy density > 30%, height > 2 m
		26	灌丛 Shrub	郁密度>40%, 高度>2 m 的灌丛和矮林 Shrub and copse with canopy density > 40%, height > 2 m
3	湿地 Wetland	31	内陆水体 Inland water	陆地上各种淡水湖、咸水湖、水库及坑塘、河流 Freshwater lake, salt lake, reservoir, pond and rive
		32	河湖滩地 River beach	河流沿岸或湖泊周边的滩地, 包括边滩、心滩等 Beaches of river and lake
		33	沼泽地 Marsh land	植被覆盖度高的湿生草地, 地势平坦低洼、排水不畅、长期积水且表层生长湿生草本植被的土地 Wet grassland with high vegetation coverage, wetland with herbs
		34	永久性冰川雪地 Permanent glacier and firn	常年被冰川和积雪所覆盖的土地 Glacier and snow covered land
4	其他生态用地 Other ecological land	41	盐碱地 Saline land	地表盐碱聚集, 植被稀少, 只能生长强耐盐碱植物的土地 Vegetation is sparse and salt accumulation in surface soil.
		42	裸岩 Bare rock	地表以岩石或石砾为主、植被覆盖度在 5%以下的荒漠及戈壁、裸露石山等无植被地段 Desert, gobi and rock mountain with < 5% vegetation coverage rate
		43	裸地 Bare land	地表为土质、植被覆盖度在 5%以下的裸土地等无植被地段 Bare soil with < 5% vegetation coverage rate
		44	沙地 Sandy land	植被覆盖度在 5%以下的沙地、流动沙丘 Sandy land and active sand dune with vegetation coverage rate < 5%

2.3.3　生态服务总价值的计算

根据各种生态系统的生态功能的单价和各分区内每种生态用地面积, 可计算得出坝上地区各生态要素类型分区生态用地的生态服务总价值[24-26], 其公式为:

$$\mathrm{ESV}=\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}A_j E_{ij} \tag{3}$$

式中: ESV 为研究区各类型分区生态用地的生态服务总价值(元·a^{-1}), A_j 为类型区各生态用地的分布面积(hm^2), E_{ij} 为 j 种生态系统 i 种生态服务功能的单价(元·hm^{-2}·a^{-1})。

3　结果与分析

3.1　土地生态要素类型区的分布特征

结合表 2 和图 1 分析得出, 研究区内粮食单产的大体趋势是自中部向两翼方向逐渐递增: 粮食高产区位于东南部的褐土侵蚀剥蚀低山类型区和褐土侵蚀剥蚀中山类型区, 产量高达 5 000 kg·hm^{-2} 以上, 其原因是两类型区均属褐土类型的土壤, 适合种植多种旱作物, 土层深厚, 耕性良好, 立地条件优越, 排水良好, 地下水埋藏深, 土壤养分高; 中产区主要位于西南方位尚义县的栗褐土侵蚀剥蚀中山类型区和东部承德地区的棕壤侵蚀剥蚀中山类型区, 这两类类型区均为中山区, 相对

湿度较大，但气温偏低，而棕壤土壤类型区保水能力强但透水性差，潮土土壤类型区则土层深厚土壤养分低，故而一般为中产区；低产区则主要位于西南的张北县栗钙土玄武岩台地类型区和尚义县粗骨土侵蚀剥蚀中山类型区，产量不足 2 500 kg·hm^{-2}，造成这种现象的原因是其地貌类型为玄武岩台地，是中玄武岩喷溢而形成的台地，上覆黄砂土，大部分砂层偏厚十分贫瘠，少数垦为农地，故而生产能力差，或因其土壤类型为粗骨土，土层薄，砾石含量多，坡度大，土壤侵蚀严重，土壤养分贫乏，保水保肥性能差。

表 2 坝上各土地生态要素类型区的特征及粮食单产情况

Table 2 Characteristics and grain yield per unit area of each region of land ecological elements in Bashang area

类型区 Region	粮食单产 Grain yield (kg·hm^{-2})	特征 Characteristics
草甸土冲积风积高原 Alluvial aeolian plateau of meadow soil	3 326	土层深厚；土壤呈微酸性，较为肥沃，有机质含量较高，水分状况较好，疏松多孔；植被覆盖度>70%。 Soil is weakly acid and porous with deep layer, higher organic matter content and sufficient water. The vegetation coverage rate is higher than 70%.
草甸土洪积冲积高原 Alluvial alluvium plateau of meadow soil	2 597	耕层砂壤土，通透性良好，有机质含量较高；耕层以下以砂土为主。土壤季节性干湿变化。垦殖时间短，土壤质地轻，有机质分解转化缓慢，速效养分含量低。 Plough layer soil is sandy loam with higher organic matter, while soil under plough layer is sandy soil. Soil is in seasonal alterations of drying and wetting. Available nutrients contents of soil are lower. Decomposition and transformation of organic matter are slow. Soil texture is light due to short exploitation time.
草甸土湖积高原 Meadow soil lake plateau	2 948	土层深厚，有较好的团粒结构，疏松多孔，质地均一，通体壤质，土体构型良好。土壤水分长期处于饱和状态，地温低，不宜垦殖为农田。 Soil is loamy with deeper layer and granular structure. Soil water is saturated and temperature is lower, and is not suitable for farming.
草甸土侵蚀剥蚀中山 Middle mountain of eroded meadow soil	3 358	地势微倾斜，无季节性积水，植被覆盖度 60%~70%。土壤肥沃，土层深厚；地下水位较高但不易沥涝，土壤水分较充沛；气候寒冷，无霜期短，积温不足，不宜垦殖为农用。 Terrain is micro tilt, and there is no seasonal waterlogging. The vegetation coverage rate is 60%–70%. Soil is fertile and soil layer is deep. Soil water is abundant and groundwater table is higher. Climate is cool with short frost-free duration and insufficient accumulated temperature, not suitable for farming.
潮土侵蚀剥蚀低山 Low mountain of eroded moisture soil	4 339	耕层为壤土，屑粒状结构，疏松，多空隙，水分状况较好，养分含量较高；但大部分土层较薄。 Plough layer is shallow, soil is loamy soil with granular structure, high porosity, well water condition and high nutrients content.
潮土侵蚀剥蚀中山 Middle mountain of eroded moisture soil	3 785	土壤质地偏粗，屑粒结构，疏松，多孔隙，通透性好。耕性好，宜耕期长，但该土壤保水保肥能力差，干旱，土壤潜在养分低。 Soil texture is coarse and granular with good permeability. Soil is suitable for long term farming, but is lower in water and fertility conservation, and usually is dry with lower potential nutrient.
粗骨土侵蚀剥蚀中山 Middle mountain of eroded skeleton soil	2 471	土层薄，砾石含量多，坡度大；土壤侵蚀严重，自然植被稀少；剖面发育不完全；土壤养分贫乏，保水保肥性能差。 Slope is high. Soil layer is shallow and deficient in nutrients with higher cobble content and serious erosion.
风沙土冲积风积高原 Alluvial aeolian plateau of sandy soil	3 042	土层深厚，但通体土少石多，为砂砾土，养分含量较低，且保水保肥能力极差，植被很少。 Sandy soil layer is deep with lower nutrients content, lower water and fertility conservation, and rarely vegetation.
风沙土湖积高原 Sandy soil lake plateau	3 374	土壤通体为砂壤土，疏松，肥力瘠薄，养分含量低，保水保肥性能差。 Soil is sandy loam with lower nutrients content and water and fertility conservation.
风沙土侵蚀剥蚀中山 Middle mountain of eroded sandy soil	3 824	土壤通体为砂土，成土时间短，土壤剖面特征发育微弱，植被覆盖度可达 30%左右。 Soil is sand. Soil profile development is weak due to short soil forming time. The vegetation coverage rate is about 30%.
褐土侵蚀剥蚀低山 Low mountain of eroded cinnamon soil	6 573	土层薄，表层质地为砂黏壤土，土壤疏松，结构良好，质地适中，有机质含量丰富，植被覆盖率较高，具有较强的保水保肥性能。水热状况较好，土壤酸碱度适宜，立地条件优越。 Soil layer is shallow. Surface soil is sandy clay loam. Soil is in good structure and proper texture with sufficient organic matter, strong water and fertility conservation ability, good water and heat condition, suitable pH. Vegetation coverage rate is higher.
褐土侵蚀剥蚀中山 Middle mountain of eroded cinnamon soil	5 361	土层薄，有机质含量丰富，土壤疏松，结构良好，质地适中；植被覆盖率较高，具有较强的保水保肥性能。地形多为较陡的山坡或岗坡，易发生水土流失。 Soil layer is shallow and in good structure and proper texture with sufficient organic matter, strong water and fertility conservation ability. Vegetation coverage rate is higher. Due to the terrain is usually steep slope, soil and water erosion is prone to happen.
灰色森林土冲积风积高原 Alluvial aeolian plateau of gray forest soil	3 072	质地为砂壤土，地形起伏，内外排水性能好，极易形成干旱现象，大部分实行草田轮作。易发生风蚀和水蚀现象，土壤全量养分丰富，速效养分不足。 Soil texture is sandy loam with good drainage ability and prone to be dry. Terrain is relief. Wind and water erosion is prone to be happen. Available nutrients contents are lower though the total nutrients contents are higher.
灰色森林土侵蚀剥蚀中山 Middle mountain of eroded gray forest soil	3 495	土壤通体为砂壤土，质地适中，疏松多孔，呈微酸性，有较好的团粒结构，养分含量高，土层较厚，吸热能量大。 Sandy loam soil is weak acid with proper texture, good granular structure, high nutrients contents, deep soil layer and good heat condition.

表 2 续

类型区 Region	粮食单产 Grain yield ($kg \cdot hm^{-2}$)	特征 Characteristics
栗钙土洪积冲积高原 Alluvial alluvium plateau of the chestnut coloured soil	3 282	成土母质为洪冲积物，海拔 1 400 m 左右，气候寒温干旱、多风。土层深厚，质地均一，耕性良好，土壤潜在肥力较高，但土壤风蚀严重，蓄水保墒能力差，水分不足。 Parent material is diluvial deposit. The altitude is around 1 400 m with cold, arid and windy climate. Soil layer is deep and texture is even. Soil potential fertility is higher and suitable for farming. But, because of serious wind erosion, the water conservation ability of soil is weak.
栗钙土湖积高原 Chestnut coloured soil lake plateau	3 677	气候寒温干旱，春季多风，风蚀较重。表土多为砂黏壤土，有效养分含量低，极度缺磷，水分不足，土体中有“钙积”障碍层。 Climate is cold and arid, windy in spring with serious wind erosion. Surface soil is sandy clay loam with lower available nutrients, especially phosphorus is extremely deficient. There is caleie horizon in soil profile and soil water content is lower.
栗钙土侵蚀剥蚀丘陵 Eroded hill of chestnut coloured soil	4 275	地势平缓，土层深厚，疏松多孔，土壤水分、养分含量较高，保水保肥性能较好。但因寒温半湿润条件的影响，植物生长比较繁茂，植物残体较多，气温低，微生物活动差。 Topography is gentle, soil layer is deep and porous with sufficient water and nutrients, and higher in water and fertility conservation ability. Though vegetation grows well, microorganism activity is lower due to lower temperature.
栗钙土侵蚀剥蚀台地 Eroded platform of chestnut coloured soil	3 841	表土质地一般为砂壤土，土层厚度平均值为 90 cm。海拔较高，气候湿润。耕性良好，但土壤代换量低，保肥性能差。土壤养分含量较低，易发生水土流失。 Surface soil is sandy loam, and average soil layer depth is 90 cm. Altitude is high, and climate is humid. Though soil is suitable for farming, it contains less nutrients and prone to water and soil loss.
栗钙土侵蚀剥蚀中山 Middle mountain of eroded chestnut coloured soil	3 713	土层深厚，质地适中，土壤潜在肥力高，保肥性能好，年降水量相对较多，土壤水含量较高，耕性良好。但水土流失严重，土壤缺磷，少锌。 Soil depth is deep with proper texture, high potential fertility and high fertility conservation ability, but soil is insufficient in phosphorus and zinc. Annual rainfall is high. Soil is suitable for farming with high water content.
栗钙土玄武岩台地 Basalt platform of chestnut cinnamon soil	2 320	土壤表层有机质、全氮、碱解氮及钾含量高。屑粒状结构，土体紧实少孔，根系较多，无石灰反应。坡度大，土层薄，易受侵蚀，水分不足，保水保肥性能差。 Surface soil contents of organic matter, total nitrogen, available nitrogen and potassium are high. The soil structure is granular, soil is compact with many plants roots. No lime reaction is observed. Due to large slope gradient and shallow soil layer, soil erosion is liable occur, and water and fertility conservation ability is low.
栗褐土侵蚀剥蚀中山 Middle mountain of eroded chestnut cinnamon soil	3 468	土层深厚，质地适中，石灰反应强烈，但土壤干旱，养分含量贫缺。植被覆盖度低，土壤侵蚀严重。 Soil layer is deep with proper texture and strong lime reaction. Soil is dry with low nutrient content. Vegetation coverage rate is low and soil erosion is serious.
栗褐土玄武岩台地 Basalt platform of chestnut cinnamon soil	2 748	有机质含量低，植被稀疏，水土流失严重。中玄武岩喷溢而形成的台地，上覆黄砂土，十分贫瘠，可为林业用地。 Soil organic matter content is low with serious soil and water erosion. Vegetation is sparse. Topography is platform formed by the eruption of basalt with barren sandy loess surface soil. The land may be used for forest.
盐土洪积冲积高原 Alluvial alluvium plateau of the saline soil	3 107	土壤质地以壤质为主，土壤表层含盐量高于心土和底土层，土体全盐含量呈上低下高的梯形分布。表土光滑较硬，有机质含量变化大，植被覆盖度较高。 Soil texture is loamy, and surface soil contains more salt than subsoil and undersoil. Surface soil is smooth and hard with high organic matter content. Vegetation coverage rate is high.
盐土湖积高原 Saline soil lake plateau	2 562	质地以粉砂土为主，土色灰暗。土壤质地黏重，物理性状不良，难以种植利用。雨季地表径流汇集，土壤含盐量高，一般植物不能生长。 Soil texture is silt with poor physical properties and not suitable for farming. Soil salt content is high.
沼泽土冲积风积高原 Alluvial aeolian plateau of marsh soil	3 722	表耕层团粒状结构，疏松多孔，植物根密集。所处地形较高，一般雨季为积水期，土体中水分饱和，黏重闭气，耕性较差，土性湿冷。 Plough layer soil is in granular structure and porous with dense plants roots. Soil is clamminess, glutinous and not suitable for farming.
沼泽土侵蚀剥蚀中山 Middle mountain of eroded marshy soil	4 317	通体砂壤，石灰反应微弱，表耕层屑粒状结构，疏松多孔，植物根盘结。土质地粗，水分过多，通透性差，耕性好，肥力较高。 Soil is sandy loam with weak lime reaction. Plough layer soil is in granular structure and porous with dense plants roots. Soil texture is coarse and moisture with lower permeability. Soil fertility is high and suitable for farming.
棕壤侵蚀剥蚀低山 Low mountain of eroded brown soil	4 695	土壤水分特点：表湿下润，中度淋溶。土层深厚，团粒结构，表层紧实，粘化不明显，除速效磷外其他养分较为丰富。 Soil is wet in surface and humid in subsoil with medium leakage. Soil layer is deep with granular structure. Surface soil is compact. Soil nutrients are sufficient except phosphorus.
棕壤侵蚀剥蚀中山 Middle mountain of eroded brown soil	3 419	土层深厚，一般大于 1 m，质地偏砂，土壤有机质矿化快，积累少，肥力低。易缺水干旱，缺氮，缺磷。气候特点:中温，湿润，冷凉。土壤通体无石灰反应。 Soil depth is deeper than 1 m. Soil texture is sandy with lower fertility, insufficient nitrogen and phosphors. Climate is temperature, humid.

3.2 土地生态要素类型区的生态用地现状分析

依据上述研究方法进行土壤-地貌类型分区(表3)。河北省坝上地区中棕壤侵蚀剥蚀中山类型区的土地总面积最大，高达 739 877.07 hm^2，约为总面积的23.31%；其次是栗钙土洪积冲积高原类型区和栗钙土湖积高原类型区，面积分别为 453 220.04 hm^2 和409 546.68 hm^2，三者面积之和超过坝上地区总面积的50%。而盐土湖积高原类型区和风沙土冲积风积高原类型区的面积极小，仅为2 593.66 hm^2和2 693.71 hm^2，所占面积比例均不足总面积的 0.10%。坝上生态用地类型主要以草地和林地为主，两者面积之和占研究区总面积的 73.95%。沼泽土侵蚀剥蚀中山类型区、沼泽土冲积风积高原类型区、灰色森林土侵蚀剥蚀中山类型区以及灰色森林土冲积风积高原类型区的生态用地面积占其类型区总面积的比例高达 95%以上，可以说明沼泽土和灰色森林土土壤类型易开发利用为生态用地，起到防风固沙、净化空气等良好的生态作用。相对而言，盐土湖积高原类型区的生态用地所占比例最小，仅占 39.74%，因其表土含盐量高，土壤养分含量低，致使地面植被生长稀疏，部分盐土可生长稀疏草甸或湿生植被，但因其为高原，地势陡峭，日照时间长，几乎无农牧利用价值。

表 3 2015 年坝上各土地生态要素类型区的生态用地面积统计表

Table 3 Statistics of ecological land areas of each region of land ecological elements in Bashang area in 2015

类型区 Region	草地 Grassland		林地 Forest		湿地 Wetland		其他生态用地 Other ecological land		非生态用地 Non ecological land		生态用地面积占比 Proportion of ecological land area (%)	总计 Total (hm^2)
	面积 Area (hm^2)	比例 Percent (%)	面积 Area (hm^2)	比例 Percent (%)	面积 Area (hm^2)	比例 Percent (%)	面积 Area (hm^2)	比例 Percent (%)	面积 Area (hm^2)	比例 Percent (%)		
草甸土冲积风积高原 Alluvial aeolian plateau of meadow soil	7 464.63	1.06	4 316.95	0.26	134.25	0.61	0.00	0.00	798.48	0.10	93.72	12 714.32
草甸土洪积冲积高原 Alluvial alluvium plateau of meadow soil	12 103.40	1.72	5 056.79	0.31	305.46	1.39	0.00	0.00	11 358.28	1.47	60.59	28 823.92
草甸土湖积高原 Meadow soil lake plateau	9 375.04	1.33	2 235.70	0.14	1 350.12	6.13	196.94	0.62	4 960.88	0.64	72.62	18 118.67
草甸土侵蚀剥蚀中山 Middle mountain of eroded meadow soil	8 471.84	1.20	6 777.58	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	1 969.75	0.25	88.56	17 219.17
潮土侵蚀剥蚀低山 Low mountain of eroded	17 392.48	2.47	57 057.66	3.48	740.48	3.36	648.26	2.06	26 750.95	3.46	73.92	102 589.82
潮土侵蚀剥蚀中山 Middle mountain of eroded moisture soil	4 573.21	0.65	60 834.07	3.71	600.21	2.73	203.45	0.65	26 059.91	3.37	71.76	92 270.85
粗骨土侵蚀剥蚀中山 Middle mountain of eroded skeleton soil	8 087.31	1.15	3 385.81	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	1 180.92	0.15	90.67	12 654.04
风沙土冲积风积高原 Alluvial aeolian plateau of sandy soil	1 177.28	0.17	1 152.38	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	364.05	0.05	86.49	2 693.71
风沙土湖积高原 Sandy soil lake plateau	1 922.23	0.27	3 970.69	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	4 736.32	0.61	55.44	10 629.23
风沙土侵蚀剥蚀中山 Middle mountain of eroded sandy soil	3 872.73	0.55	5 307.33	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	2 608.36	0.34	77.87	11 788.43
褐土侵蚀剥蚀低山 Low mountain of eroded cinnamon soil	29 783.44	4.22	131 621.04	8.02	257.29	1.17	1 010.57	3.21	21 013.98	2.72	88.56	183 686.33
褐土侵蚀剥蚀中山 Middle mountain of eroded cinnamon soil	9 212.81	1.31	56 491.35	3.44	91.04	0.41	835.38	2.65	24 244.35	3.14	73.32	90 874.94
灰色森林土冲积风积高原 Alluvial aeolian plateau of gray forest soil	26 205.55	3.72	21 798.60	1.33	450.64	2.05	0.00	0.00	2 141.57	0.28	95.77	50 596.37
灰色森林土侵蚀剥蚀中山 Middle mountain of eroded gray forest soil	40 705.96	5.77	76 785.78	4.68	1 984.08	9.01	0.00	0.00	3 493.00	0.45	97.16	122 968.81

表 3 续

类型区 Region	草地 Grassland		林地 Forest		湿地 Wetland		其他生态用地 Other ecological land		非生态用地 Non ecological land		生态用地面积占比 Proportion of ecological land area (%)	总计 Total (hm^2)
	面积 Area (hm^2)	比例 Percent (%)	面积 Area (hm^2)	比例 Percent (%)	面积 Area (hm^2)	比例 Percent (%)	面积 Area (hm^2)	比例 Percent (%)	面积 Area (hm^2)	比例 Percent (%)		
栗钙土洪积冲积高原 Alluvial alluvium plateau of the chestnut coloured soil	118 032.96	16.74	135 128.73	8.23	2 015.90	9.16	2 565.95	8.14	195 476.51	25.28	56.87	453 220.04
栗钙土湖积高原 Chestnut coloured soil lake plateau	98 789.68	14.01	106 378.36	6.48	11 663.59	52.99	18 963.66	60.14	173 751.39	22.47	57.57	409 546.68
栗钙土侵蚀剥蚀丘陵 The eroded hill of chestnut coloured soil	36 652.59	5.20	56 219.99	3.42	239.21	1.09	749.72	2.38	61 716.70	7.98	60.33	155 578.21
栗钙土侵蚀剥蚀台地 Eroded platform of chestnut coloured soil	39 566.41	5.61	28 931.69	1.76	168.53	0.77	244.68	0.78	38 595.82	4.99	64.10	107 507.13
栗钙土侵蚀剥蚀中山 Middle mountain of eroded chestnut coloured soil	58 287.84	8.27	53 896.32	3.28	0.00	0.00	0.00	0.00	18 994.42	2.46	85.52	131 178.57
栗钙土玄武岩台地 The eroded platform of chestnut coloured soil	15 359.57	2.18	39 286.77	2.39	167.61	0.76	878.68	2.79	45 663.36	5.91	54.95	101 355.99
栗褐土侵蚀剥蚀中山 Middle mountain of eroded chestnut cinnamon soil	46 905.07	6.65	33 870.95	2.06	0.00	0.00	0.00	0.00	13 359.27	1.73	85.81	94 135.29
栗褐土玄武岩台地 Basalt platform of chestnut cinnamon soil	4 295.77	0.61	5 876.95	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	5 426.02	0.70	65.21	15 598.73
盐土洪积冲积高原 Aluvial alluvium plateau of the saline soil	854.29	0.12	1 003.79	0.06	185.65	0.84	1.12	0.00	1 415.99	0.18	59.09	3 460.84
盐土湖积高原 The saline soil lake plateau	1 028.32	0.15	0.16	0.00	0.00	0.00	2.14	0.01	1 563.03	0.20	39.74	2 593.66
沼泽土冲积风积高原 The alluvial aeolian plateau of marsh soil	4 482.22	0.64	14 670.93	0.89	470.38	2.14	140.97	0.45	191.14	0.02	99.04	19 955.64
沼泽土侵蚀剥蚀中山 The middle mountain of eroded marshy soil	6 324.40	0.90	9 386.93	0.57	1 147.28	5.21	0.00	0.00	58.25	0.01	99.66	16 916.86
棕壤侵蚀剥蚀低山 The low mountain of eroded brown soil	15 380.58	2.18	135 648.17	8.26	0.76	0.00	667.86	2.12	13 354.87	1.73	91.91	165 052.24
棕壤侵蚀剥蚀中山 The middle mountain of eroded brown soil	78 870.90	11.18	584 539.73	35.61	38.51	0.17	4 420.83	14.02	72 007.11	9.31	90.27	739 877.07
总计 Total	705 178.50	22.22	1 641 631.20	51.73	22 010.98	0.69	31 530.21	0.99	773 254.68	24.37	75.63	3 173 605.56

3.3　土地生态要素类型区的生态服务价值分析

结合表 4 和图 3 分析可知, 2015 年坝上生态服务总价值高达 609.20 亿元, 其中林地提供的生态服务价值最高, 有 473.58 亿元, 其次是草地提供了 100.76 亿元, 两者之和将近当年总价值的 95%, 相对应其面积占比也相当高。位于坝上地区东部的棕壤侵蚀剥蚀中山类型区是所有类型区中生态服务价值最高的, 主要是因为其分区内林地面积大, 提供了非常高的生态服务价值。林地的生态系统服务功能主要为气候调节、水文调节、土壤保持等, 功能较广泛, 因此应当继续采取封山育林政策, 加强生态保护林建设, 保持林地所能提供的生态系统服务功能价值。盐土湖积高原类型区所提供的生态服务价值最小, 仅有 1 023.35 万元, 而且基本为草地所提供。草地提供的生态系统服务功能主要为气候调节、水文调节和土壤保持等, 坝上草原有“京北第一草原”的美称, 是中国北方的旅

游胜地，带动着这一带的经济发展，所以草地的保护压力巨大，应进一步加强科学种草、合理禁牧等措施，使其得到有效利用和保护。湿地提供的最为重要的生态系统服务功能是水文调节，2015 年湿地的生态系统服务价值 34.69 亿元，由于面积的有限性，导致其所能提供的生态服务价值不是很高，而坝上地区是京津冀最重要的水源涵养地，直接决定了京津地区的用水安全和生态平衡问题，所以应制定更加完善的湿地保护制度，同时要根据湿地的不同退化程度，采取相应的生态修复措施，使得湿地的生态服务功能有所加强。研究区内的其他生态用地全部为盐碱地和裸地，提供的生态功能主要为土壤保持、净化环境和水文调节，2015 年期间所提供的生态系统服务价值很小，仅有 0.18 亿元。

表 4　2015 年坝上各土地生态要素类型区生态用地的生态系统服务价值统计表

Table 4　Ecosystem service values for the ecological land of each region of land ecological elements in Bashang area in 2015

类型区 Region		草地 Grassland	林地 Forest	湿地 Wetland	其他生态用地 Other ecological land	总计 Total
草甸土冲积风积高原 Alluvial aeolian plateau of meadow soil	E_{ij} (¥·hm^{-2}·a^{-1})	12 914.38	24 503.12	143 907.71	491.77	—
	ESV (10^4¥·a^{-1})	9 640.11	10 577.88	1 932.00	0.00	22 149.99
草甸土洪积冲积高原 Alluvial alluvium plateau of meadow soil	E_{ij} (¥·hm^{-2}·a^{-1})	10 083.78	19 132.47	112 365.70	383.99	—
	ESV (10^4¥·a^{-1})	12 204.80	9 674.88	3 432.28	0.00	25 311.96
草甸土湖积高原 Meadow soil lake plateau	E_{ij} (¥·hm^{-2}·a^{-1})	11 446.66	21 718.34	127 552.59	435.88	—
	ESV (10^4¥·a^{-1})	10 731.29	4 855.58	17 221.07	8.58	32 816.52
草甸土侵蚀剥蚀中山 Middle mountain of eroded meadow soil	E_{ij} (¥·hm^{-2}·a^{-1})	13 038.63	24 738.87	145 292.27	496.50	—
	ESV (10^4¥·a^{-1})	11 046.13	16 766.96	0.00	0.00	27 813.09
潮土侵蚀剥蚀低山 Low mountain of eroded moisture soil	E_{ij} (¥·hm^{-2}·a^{-1})	16 847.72	31 966.03	187 737.68	641.55	—
	ESV (10^4¥·a^{-1})	29 302.36	182 390.69	13 901.57	41.59	225 636.21
潮土侵蚀剥蚀中山 Middle mountain of eroded moisture soil	E_{ij} (¥·hm^{-2}·a^{-1})	14 696.61	27 884.64	163 767.49	559.64	—
	ESV (10^4¥·a^{-1})	6 721.07	169 633.58	9 829.54	11.39	186 195.57
粗骨土侵蚀剥蚀中山 Middle mountain of eroded skeleton soil	E_{ij} (¥·hm^{-2}·a^{-1})	9 594.54	18 204.21	106 913.99	365.36	—
	ESV (10^4¥·a^{-1})	7 759.40	6 163.59	0.00	0.00	13 923.00
风沙土冲积风积高原 Alluvial aeolian plateau of sandy soil	E_{ij} (¥·hm^{-2}·a^{-1})	11 811.65	22 410.85	131 619.74	449.78	—
	ESV (10^4¥·a^{-1})	1 390.56	2 582.58	0.00	0.00	3 973.14
风沙土湖积高原 Sandy soil lake plateau	E_{ij} (¥·hm^{-2}·a^{-1})	13 100.76	24 856.74	145 984.55	498.87	—
	ESV (10^4¥·a^{-1})	2 518.26	9 869.85	0.00	0.00	12 388.11
风沙土侵蚀剥蚀中山 Middle mountain of eroded sandy soil	E_{ij} (¥·hm^{-2}·a^{-1})	14 848.05	28 171.95	165 454.92	565.41	—
	ESV (10^4¥·a^{-1})	5 750.25	14 951.79	0.00	0.00	20 702.04
褐土侵蚀剥蚀低山 Low mountain of eroded cinnamon soil	E_{ij} (¥·hm^{-2}·a^{-1})	25 522.02	48 424.23	284 397.28	971.87	—
	ESV (10^4¥·a^{-1})	76 013.36	637 364.77	7 317.33	98.21	720 793.67
褐土侵蚀剥蚀中山 Middle mountain of eroded cinnamon soil	E_{ij} (¥·hm^{-2}·a^{-1})	20 816.00	39 495.25	231 957.07	792.66	—
	ESV (10^4¥·a^{-1})	19 177.39	223 114.02	2 111.81	66.22	244 469.44
灰色森林土冲积风积高原 Alluvial aeolian plateau of gray forest soil	E_{ij} (¥·hm^{-2}·a^{-1})	11 928.14	22 631.86	132 917.76	454.22	—
	ESV (10^4¥·a^{-1})	31 258.34	49 334.30	5 989.87	0.00	86 582.51
灰色森林土侵蚀剥蚀中山 Middle mountain of eroded gray forest soil	E_{ij} (¥·hm^{-2}·a^{-1})	13 570.59	25 748.16	151 219.91	516.76	—
	ESV (10^4¥·a^{-1})	55 240.37	197 709.29	30 003.19	0.00	282 952.85
栗钙土洪积冲积高原 Alluvial alluvium plateau of the chestnut coloured soil	E_{ij} (¥·hm^{-2}·a^{-1})	12 743.54	24 178.96	142 003.94	485.27	—
	ESV (10^4¥·a^{-1})	150 415.74	326 727.25	28 626.52	124.52	505 894.03
栗钙土湖积高原 Chestnut coloured soil lake plateau	E_{ij} (¥·hm^{-2}·a^{-1})	14 277.27	27 088.98	159 094.60	543.67	—
	ESV (10^4¥·a^{-1})	141 044.65	288 168.17	185 561.34	1 031.00	615 805.16
栗钙土侵蚀剥蚀丘陵 Eroded hill of chestnut coloured soil	E_{ij} (¥·hm^{-2}·a^{-1})	16 599.21	31 494.54	184 968.56	632.09	—
	ESV (10^4¥·a^{-1})	60 840.41	177 062.26	4 424.63	47.39	242 374.69
栗钙土侵蚀剥蚀台地 Eroded platform of chestnut coloured soil	E_{ij} (¥·hm^{-2}·a^{-1})	14 914.05	28 297.20	166 190.47	567.92	—
	ESV (10^4¥·a^{-1})	59 009.56	81 868.57	2 800.78	13.90	143 692.80

表 4 续

类型区 Region		草地 Grassland	林地 Forest	湿地 Wetland	其他生态用地 Other ecological land	总计 Total
栗钙土侵蚀剥蚀中山 Middle mountain of eroded chestnut coloured soil	E_{ij} (¥·hm^{-2}·a^{-1})	14 417.05	27 354.20	160 652.23	548.99	—
	ESV (10^4¥·a^{-1})	84 033.86	147 429.07	0.00	0.00	231 462.93
栗钙土玄武岩台地 Chestnut soil basalt platform	E_{ij} (¥·hm^{-2}·a^{-1})	9 008.23	17 091.77	100 380.60	343.03	—
	ESV (10^4¥·a^{-1})	13 836.25	67 148.05	1 682.43	30.14	82 696.88
栗褐土侵蚀剥蚀中山 Middle mountain of eroded chestnut cinnamon soil	E_{ij} (¥·hm^{-2}·a^{-1})	13 465.75	25 549.25	150 051.69	512.77	—
	ESV (10^4¥·a^{-1})	63 161.19	86 537.74	0.00	0.00	149 698.94
栗褐土玄武岩台地 Basalt platform of chestnut cinnamon soil	E_{ij} (¥·hm^{-2}·a^{-1})	10 670.09	20 244.91	118 899.09	406.31	—
	ESV (10^4¥·a^{-1})	4 583.62	11 897.82	0.00	0.00	16 481.45
盐土洪积冲积高原 Alluvial alluvium plateau of the saline soil	E_{ij} (¥·hm^{-2}·a^{-1})	12 064.04	22 889.71	134 432.12	459.39	—
	ESV (10^4¥·a^{-1})	1 030.62	2 297.64	2 495.76	0.05	5 824.07
盐土湖积高原 Saline soil lake plateau	E_{ij} (¥·hm^{-2}·a^{-1})	9 947.88	18 874.62	110 851.34	378.81	—
	ESV (10^4¥·a^{-1})	1 022.96	0.31	0.00	0.08	1 023.35
沼泽土冲积风积高原 Alluvial aeolian plateau of marsh soil	E_{ij} (¥·hm^{-2}·a^{-1})	14 451.99	27 420.51	161 041.64	550.32	—
	ESV (10^4¥·a^{-1})	6 477.71	40 228.42	7 575.06	7.76	54 288.95
沼泽土侵蚀剥蚀中山 Middle mountain of eroded marshy soil	E_{ij} (¥·hm^{-2}·a^{-1})	16 762.29	31 803.96	186 785.80	638.30	—
	ESV (10^4¥·a^{-1})	10 601.15	29 854.14	21 429.61	0.00	61 884.90
棕壤侵蚀剥蚀低山 Low mountain of eroded brown soil	E_{ij} (¥·hm^{-2}·a^{-1})	18 230.01	34 588.74	203 140.91	694.19	—
	ESV (10^4¥·a^{-1})	28 038.82	469 189.86	15.45	46.36	497 290.49
棕壤侵蚀剥蚀中山 Middle mountain of eroded brown soil	E_{ij} (¥·hm^{-2}·a^{-1})	13 275.49	25 188.26	147 931.58	505.52	—
	ESV (10^4¥·a^{-1})	104 704.97	1 472 353.96	569.61	223.48	1 577 852.02
ESV 总计 Total	ESV (10^8¥·a^{-1})	100.76	473.58	34.69	0.18	609.20

E_{ij}: 生态系统服务价值单价; ESV: 生态系统服务价值。E_{ij}: ecosystem service value per unit area; ESV: ecosystem service value of the region.

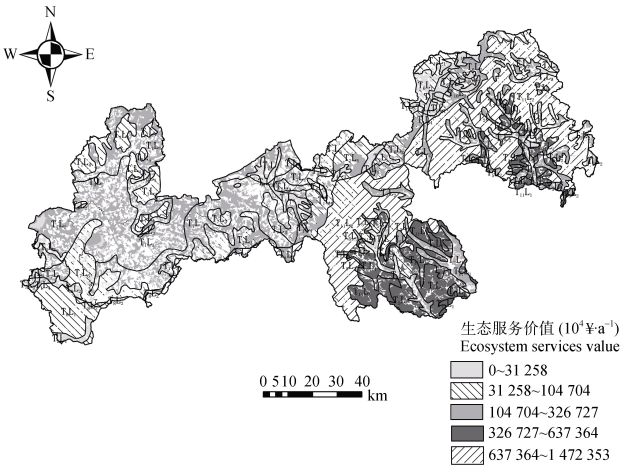

图 3　2015 年坝上生态用地生态服务价值分布图

Fig. 3　Ecological service value distribution of ecological land in Bashang area in 2015

4　结论与讨论

4.1　结论

1)研究区内粮食单产大体趋势是自中部向两翼方向逐渐递增，产量 2 320~6 573 kg·hm^{-2} 不等。土壤类型和地貌类型均影响着土地生产能力的大小，从而影响着该地区的生态系统服务价值。位于承德东南部的褐土侵蚀剥蚀低山类型区粮食产量最高，其原因是土壤类型为褐土，土层深厚，土壤养分高，且地势平坦，排水条件优良，立地条件优越；位于西南的张北县栗钙土玄武岩台地类型区产量最低，其原因是地貌类型为玄武岩台地，上覆黄砂土，大部分砂层偏厚十分贫瘠，少数垦为农地，故而生产能力差。

2)河北省坝上生态用地类型主要是以草地和林地为主，两者面积之和占研究区总面积的 73.95%。坝上地区在 28 个土壤-地貌类型分区中棕壤侵蚀剥蚀中山类型区的土地总面积最大，为 739 877.07 hm^2，约占总面积的 23.31%；其次是栗钙土洪积冲积高原类型区和栗钙土湖积高原类型区，面积分别为 453 220.04 hm^2 和 409 546.68 hm^2，三者面积之和超过坝上地区总面积的 50%。而盐土湖积高原类型区和风沙土冲积风积高原类型区的面积极小，仅为 2 593.66 hm^2 和 2 693.71 hm^2，所占面积比例均不足总面积的 0.10%。沼泽土侵蚀剥蚀中山类型区、沼泽土冲积风积高原类型区、灰色森林土侵蚀剥蚀中山类型区以及灰色森林土冲积风积高原类型区的生态用地面积占其类型区总面积的比例高达 95%以上，说明沼泽土和灰色森林土土壤类型易开发利用为生态

用地, 起到防风固沙、净化空气等良好的生态作用。

3)2015 年坝上生态服务总价值高达 609.20 亿元, 其中林地和草地提供的生态服务价值之和将近当年总价值的 95%。位于坝上地区东部的棕壤侵蚀剥蚀中山类型区在所有类型区中生态服务价值最高, 主要是因为其分区内林地面积大, 提供了非常高的生态服务价值。盐土湖积高原类型区所提供的生态服务价值最小, 仅有 1 023.35 万元, 而且基本为草地所提供。湿地提供的最为重要的生态系统服务功能是水文调节, 而坝上地区是京津冀最重要的水源涵养地, 直接决定了京津地区的用水安全和生态平衡问题, 所以应加大湿地保护力度。其他生态用地所提供的生态系统服务价值来源于研究区内的裸地和盐碱地, 其生态价值很小, 仅有 0.18 亿元。

4.2 讨论

本文以土壤、地形地貌生态要素为划分依据, 将研究区划分为 28 个类型区并计算分析其生态用地生态服务价值, 明确了坝上地区各县(市)的生态状况, 为坝上地区土地利用的合理规划以及生态用地的开发奠定基础。与前人的研究相比, 本研究最大的创新之处在于对坝上地区进行了土地生态要素类型区划分, 细化分析了各个土壤-地貌类型分区的特征概况, 将各分区内生态用地的生态系统服务价值货币化计算, 其差异可以说明除土地利用类型变化外, 土地的本质属性同样对生态服务价值有着重要影响。但是, 当前研究并未结合时间的变化进行各类型分区生态用地的生态系统服务价值时空动态全面分析, 随着研究的深入, 我们可计算过去几十年各类型区生态用地的生态系统服务价值变化间的关系, 并运用预测模型对研究区未来几十年的生态用地类型及其生态服务价值变化进行预测, 还可考虑其他生态要素(如气候条件、植被类型等)的影响, 将类型区划分进行的更加精细, 以期为维护区域生态环境质量以及政府决策和生态补偿机制提供依据。

参考文献 References

[1] 邓红兵, 陈春娣, 刘昕, 等. 区域生态用地的概念及分类[J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1519–1524
DENG H B, CHEN C D, LIU X, et al. Conception and function classification of regional ecological land[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(3): 1519–1524

[2] 喻锋, 李晓波, 张丽君, 等. 中国生态用地研究: 内涵、分类与时空格局[J]. 生态学报, 2015, 35(14): 4931–4943
YU F, LI X B, ZHANG L J, et al. Study of ecological land in China: Conception, classification, and spatial-temporal pattern[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(14): 4931–4943

[3] 周朕, 蒙吉军, 齐杨, 等. 中国生态用地重要性及其格局优化研究进展[J]. 生态学杂志, 2016, 35(1): 218–225
ZHOU Z, MENG J J, QI Y, et al. Importance of ecological lands and their pattern optimization in China: A review[J]. Chinese Journal of Ecology, 2016, 35(1): 218–225

[4] 符蓉, 喻锋, 于海跃. 国内外生态用地理论研究与实践探索[J]. 国土资源情报, 2014, (2): 32–36
FU R, YU F, YU H Y. Theory research and practical exploration of ecological land both at home and abroad[J]. Land and Resources Information, 2014, (2): 32–36

[5] 欧阳志云, 李小马, 徐卫华, 等. 北京市生态用地规划与管理对策[J]. 生态学报, 2015, 35(11): 3778–3787
OUYANG Z Y, LI X M, XU W H, et al. Ecological land use planning and management in Beijing[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(11): 3778–3787

[6] 张舟, 吴次芳, 谭荣. 生态系统服务价值在土地利用变化研究中的应用: 瓶颈和展望[J]. 应用生态学报, 2013, 24(2): 556–562
ZHANG Z, WU C F, TAN R. Application of ecosystem service value in land use change research: Bottlenecks and prospects[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(2): 556–562

[7] 傅伯杰, 张立伟. 土地利用变化与生态系统服务: 概念、方法与进展[J]. 地理科学进展, 2014, 33(4): 441–446
FU B J, ZHANG L W. Land-use change and ecosystem services: Concepts, methods and progress[J]. Progress in Geography, 2014, 33(4): 441–446

[8] COSTANZA R, D'ARGE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387(6630): 253–260

[9] COSTANZA R, DE GROOT R, SUTTON P, et al. Changes in the global value of ecosystem services[J]. Global Environmental Change, 2014, 26: 152–158

[10] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 应用生态学报, 1999, 10(5): 635–640
OUYANG Z Y, WANG R S, ZHAO J Z. Ecosystem services and their economic valuation[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1999, 10(5): 635–640

[11] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J]. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1243–1254
XIE G D, ZHANG C X, ZHANG L M, et al. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area[J]. Journal of Natural Resource, 2015, 30(8): 1243–1254

[12] 彭文甫, 周介铭, 杨存建, 等. 基于土地利用变化的四川省生态系统服务价值研究[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(7): 1011–1020
PENG W F, ZHOU J M, YANG C J, et al. Research on ecosystem service values based on land use change in Sichuan Province[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2014, 23(7): 1011–1020

[13] 李涛, 甘德欣, 杨知建, 等. 土地利用变化影响下洞庭湖地区生态系统服务价值的时空演变[J]. 应用生态学报, 2016, 27(12): 3787–3796

LI T, GAN D X, YANG Z J, et al. Spatial-temporal evolvement of ecosystem service value of Dongting Lake area influenced by changes of land use[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(12): 3787–3796

[14] 魏慧, 赵文武, 张骁, 等. 基于土地利用变化的区域生态系统服务价值评价——以山东省德州市为例[J]. 生态学报, 2017, 37(11): 3830–3839
WEI H, ZHAO W W, ZHANG X, et al. Regional ecosystem service value evaluation based on land use changes: A case study in Dezhou, Shandong Provience, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(11): 3830–3839

[15] 王红, 刘康, 李婷, 等. 基于 3S 的陕南三市生态服务价值时空变化[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(S1): 523–525
WANG H, LIU K, LI T, et al. Spatial-temporal variation of ecosystem service value in the South Shaanxi Province based on 3S technology[J]. China Population, Resources and Environment, 2015, 25(S1): 523–525

[16] 张艳军, 官冬杰, 翟俊, 等. 重庆市生态系统服务功能价值时空变化研究[J]. 环境科学学报, 2017, 37(3): 1169–1177
ZHANG Y J, GUAN D J, ZHAI J, et al. Spatial and temporal variations of ecosystem services value in Chongqing City[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2017, 37(3): 1169–1177

[17] 田志会, 王润, 赵群, 等. 2000—2012 年北京绿地生态系统服务价值时空变化规律的研究[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(6): 76–83
TIAN Z H, WANG R, ZHAO Q, et al. Study on temporal and spatial variations in the ecosystem service value of Beijing greenlands from 2000 to 2012[J]. Journal of China Agricultural University, 2017, 22(6): 76–83

[18] 张骞, 高明, 杨乐, 等. 1988—2013 年重庆市主城九区生态用地空间结构及其生态系统服务价值变化[J]. 生态学报, 2017, 37(2): 566–575
ZHANG Q, GAO M, YANG L, et al. Changes in the spatial structure of ecological land and ecosystem service values in nine key districts of Chongqing City over the past 25 years[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(2): 566–575

[19] 刘芳, 张红旗. 塔里木盆地生态用地分类及其时空变化研究[J]. 资源科学, 2016, 38(5): 825–836
LIU F, ZHANG H Q. Ecological land use mapping and spatio-temporal dynamics in the Tarim Basin[J]. Resources Science, 2016, 38(5): 825–836

[20] 吴健生, 钟晓红, 彭建, 等. 基于生态系统服务簇的小尺度区域生态用地功能分类——以重庆两江新区为例[J]. 生态学报, 2015, 35(11): 3808–3816
WU J S, ZHONG X H, PENG J, et al. Function classification of ecological land in a small area based on ecosystem service bundles: A case study in Liangjiang new area, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(11): 3808–3816

[21] 李建刚. 不同土地分类标准协调研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2012
LI J G. Coordination of research in different of land use classification criteria[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2012

[22] 龙花楼, 刘永强, 李婷婷, 等. 生态用地分类初步研究[J]. 生态环境学报, 2015, 24(1): 1–7
LONG H L, LIU Y Q, LI T T, et al. A primary study on ecological land use classification[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2015, 24(1): 1–7

[23] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189–196
XIE G D, LU C X, LENG Y F, et al. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau[J]. Journal of Natural Resources, 2003, 18(2): 189–196

[24] 罗海平, 宋焱, 彭津琳. 基于 Costanza 模型的我国粮食主产区生态服务价值评估研究[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(4): 585–590
LUO H P, SONG Y, PENG J L. Evaluation on ESV of major grain-producing areas in China: The emperical research based on Costanza model[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2017, 26(4): 585–590

[25] 高亚鸣, 孙慧兰. 基于土地分类利用下伊犁河谷地区的生态服务价值研究[J]. 生态科学, 2017, 36(1): 193–200
GAO Y M, SUN H L. Ecological service value of the Ili River Valley based on land use cover classification[J]. Ecological Science, 2017, 36(1): 193–200

[26] 龙海蓉. 长株潭地区生态用地的变化及影响机制分析[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2015
LONG H R. The changes of ecological land in Chang Zhu Tan region and its effect mechanism[D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2015